

doi:10.6040/j.issn.1673-3770.0.2023.452

双侧前庭病的非药物治疗研究进展

韩鑫宇¹, 陈钢钢², 李莹², 周丽媛², 杨捷², 吴佳鑫², 李育军²

1. 山西医科大学 第一临床医学系, 山西 太原 030000

2. 山西医科大学第一医院 耳鼻咽喉头颈外科, 山西 太原 030000

摘要: 双侧前庭病 (bilateral vestibulopathy, BVP) 是一种慢性前庭系统疾病, 主要特征是行走或站立时不稳, 在黑暗或不平坦的地面上加重, 以及振动幻视。前庭康复训练是治疗 BVP 的主要手段, 但治疗效果因人而异。一些新的治疗方式如感觉替代治疗、噪声前庭电刺激、人工前庭植入为 BVP 的治疗提供更多的选择性。本综述旨在对 BVP 的非药物治疗方法进行论述, 为该疾病的临床诊治提供参考。

关键词: 双侧前庭病; 治疗; 前庭康复; 前庭植入

中图分类号: R764 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3770(2025)06-0154-06

引用格式: 韩鑫宇, 陈钢钢, 李莹, 等. 双侧前庭病的非药物治疗研究进展[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2025, 39(6):154-159.

HAN Xinyu, CHEN Ganggang, LI Ying, et al. Advances in the study of nonpharmacologic treatment of bilateral vestibulopathy[J].

Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2025, 39(6):154-159.

Advances in the study of nonpharmacologic treatment of bilateral vestibulopathy

HAN Xinyu¹, CHEN Ganggang², LI Ying², ZHOU Liyuan², YANG Jie², WU Jiaxin², LI Yujun²

1. Department of the First Clinical Medical College, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China

2. Department of Otorhinolaryngology & Head and Neck Surgery, The First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China

Abstract: Bilateral vestibulopathy (BVP) is a chronic disorder of the vestibular system characterized by unsteadiness when walking or standing, which is further exacerbated by dark or uneven surfaces, and oscillopsia. Vestibular rehabilitation is the mainstay of treatment for BVP, but the effectiveness of treatment varies from person to person. Some new treatment modalities, such as sensory substitution therapy, noisy vestibular electrical stimulation, and artificial vestibular implantation provide more selectivity in the treatment of BVP. The aim of this review is to discuss the non-pharmacological treatment of BVP, and to provide a reference for the clinical diagnosis and treatment of this disease.

Key words: Bilateral vestibulopathy; Therapies; Vestibular rehabilitation; Vestibular implant

双侧前庭病 (bilateral vestibulopathy, BVP) 是一种慢性前庭系统疾病, 主要症状为失衡及振动幻视^[1], 其余常见症状包括慢性头晕 (58%)、头部或身体运动期间的振动幻视 (50%)、反复眩晕 (33%)、听力下降 (33%)、耳鸣 (15%) 等^[2]。此外还有发生其他风险的可能, 如跌倒风险增加、认知缺陷、空间定向感知障碍、空间记忆障碍、自主神经功能障碍、焦虑和抑郁^[3] 等。2017 年 Bárány 协会估计 BVP 的相对发病率为 4%~7%^[1], 2022 年日本流行病学调查显示 BVP 的患病率和年发病率分别为 0.84/100 000 和 0.32/100 000, 平均发病年龄为 (63.7±16.4) 岁^[4]。BVP 常见的病因是耳毒性药物 (13%)、双侧梅尼埃病 (7%) 和脑膜炎 (5%)^[1]。目

前根据临床病程可将 BVP 分为 4 种亚型^[5]: 复发性眩晕伴 BVP、快速进行性 BVP、缓慢进行性 BVP、缓慢进行性 BVP 伴共济失调。BVP 的非药物治疗包括感觉替代治疗、前庭康复治疗、噪声前庭电刺激、人工前庭植入等。前庭康复治疗是治疗前庭功能减退的主要手段, 有中等强度证据^[6] 证明前庭康复训练可以改善凝视不稳和姿势失衡, 但研究发现即使进行大量的平衡康复训练, BVP 患者也很难得到充分的改善。感觉替代治疗研究的最大局限性可能是, 与完整的前庭系统传递的信息相比, 它们编码的平衡相关信息极其有限, 且无法取代快速的前庭反射。现在治疗措施的研究重点转向前庭电刺激, 包括具有非侵入性的噪声前庭电刺激和侵入性的人工

收稿日期: 2023-11-17

通信作者: 李育军。E-mail: liyujun-wuqin@163.com

前庭植入技术。本综述就目前 BVP 的非药物治疗方法进行论述,为疾病的诊治提供参考。

1 感觉替代治疗

感觉替代治疗的原理是利用其他感觉来源的症状和体征替代缺失的前庭感觉反馈。通过连接感觉替代装置,经电触觉舌头、振动触觉、听觉刺激触发平衡反馈。这可能导致平衡控制出现一定程度的改善^[7-13]。

1.1 电触觉舌头生物反馈系统

电触觉舌头生物反馈系统使用舌头上的电触觉刺激来传输人工感知的头部位置相对于重力垂直方向的运动信息,利用中枢神经系统的能力整合可用信息来控制平衡。有研究发现,前庭康复治疗不佳的 BVP 患者进行电触觉舌头生物反馈治疗后,姿势平衡控制有显著改善^[7]。电触觉刺激的效果与前庭丢失程度成正比,前庭功能丢失更严重的患者表现出更大的改善^[8]。然而该研究并未对长期使用这种生物反馈的持久效果进行研究,电触觉舌头生物反馈介导的感觉替代治疗疗效尚不能下定论。

1.2 振动触觉生物反馈系统

振动触觉生物反馈系统通过安装在躯干或头部的倾斜传感器检测身体或头部的倾斜,是一种更直观的生物反馈系统。在短期学习振动触觉生物反馈系统后,少数 BVP 患者显示出显著的个人步态改善^[9]。不过安慰剂模式下的 BVP 患者也观察到这种生物反馈的改善,这表明其他心理行为机制可能与步态稳定有关,如增强自信心、警觉性等^[10]。Kingma 等^[11]发现在停用或移除振动腰带后,BVP 平衡改善效果立即消失。这种替代治疗的局限性在于设备原型对于日常生活来说太大,且需要长期持续佩戴,不适合日常使用。

1.3 听觉反馈系统

听觉反馈系统利用音频编码为 BVP 患者提供与前庭系统类似的感觉信息,这大概是因为听觉信息和前庭信息都是通过第Ⅷ颅神经传递到大脑投射到颞叶的。听觉线索会自动影响姿势调整,而姿势调整会自动改变在环境中定位听觉线索的能力。Dozza 等^[12]通过观察足底压力中心位移(指双足与地面接触时承受的压力分布情况,是对人体平衡状态的一种直接反馈)相关参数来量化 BVP 参与者在听觉反馈系统后站立姿势控制情况,发现当 BVP 患者在体感和视觉信息不足以控制站立姿势时,听觉反馈系统可以帮助 BVP 患者改善平衡能力。当体感信息或视觉信息可用时,听觉反馈系统

信息可能需要够长时间才能被中枢整合来共同控制姿势平衡。听觉反馈系统对前庭信息的补偿程度取决于其缺失程度,前庭信息缺失越严重的 BVP 患者从听觉反馈系统中获益越大^[13]。

2 前庭康复治疗

2.1 前庭康复治疗简述

前庭康复治疗是 BVP 患者的首选治疗方法,其利用视觉和本体觉的替代和适应来加速前庭中枢代偿的过程。替代指通过视觉或本体觉信息来补偿前庭缺陷或通过采用其他机制(如中枢调节眼球运动和颈-眼反射)增强前庭-眼反射(vestibulo-ocular reflex, VOR)缺陷。适应是通过头部运动和眼球运动使大脑建立适应机制,从而使 VOR 适应来维持凝视稳定。前庭康复治疗是基于运动锻炼的一种干预措施,包括凝视稳定性锻炼、习惯化锻炼、平衡和步态训练以及步行提高耐力训练,通常在治疗师的指导下进行,并可在运动形式上结合虚拟现实技术。

2.2 前庭康复治疗在 BVP 中的应用

一项包括 5 项二级研究和 9 项三级研究的系统综述^[14]显示,前庭康复治疗有中等强度的证据可以改善 BVP 患者的凝视和姿势稳定性。头部运动可能是该类疾病康复运动中的重点^[15]。在一项前庭康复治疗治疗特发性小脑共济失调伴 BVP 的研究中,前庭康复治疗仅能降低跌倒风险,让其姿势稳定性更好,但无法改善其主观症状和心理状态^[16]。这表明需要进一步增加能够缓解患者其他主观症状(如头晕)的措施,以及对患者心理状态的评估和咨询。另外通过回顾 69 例 BVP 病例数据显示,前庭康复治疗后有 38%~86% 的 BVP 患者在出院后平衡信心、生活质量、步态速度、跌倒风险以及动态视力得到有效改善,改善程度与入院时的基线测量有关^[17]。在进行一系列前庭康复后 78% 双侧前庭功能突然丧失(如耳毒性)的患者病情有所改善,而病因进展缓慢(如自身免疫性疾病)的患者则没有好转^[16]。这可能是因为年龄、BVP 的病因、身体功能及心理素质等因素会影响前庭康复对 BVP 的治疗效果。尽管在某些情况下前庭康复治疗被认为是有效的、安全的,而且经常被用作首选治疗方法,但作为一种治疗方式,仍缺乏高质量的研究和支持。

最近一些学者结合虚拟现实环境进行前庭康复治疗研究,Kelly 等^[18]和 Stankiewicz 等^[19]发现基于虚拟现实应用程序的前庭康复和传统前庭康复训练效果无明显差异,但患者对前者的接受度和配合度更高。结合虚拟现实的前庭康复治疗或许是一种更

受患者欢迎且更易耐受的治疗方案,但目前并未优于其他临床方法,需要未来进行大规模的长期随访研究。

3 噪声前庭电刺激

3.1 噪声前庭电刺激简述

噪声前庭电刺激是通过放置乳突上的电极皮下输送电流来调节前庭毛细胞及其传入神经的活动,适量的低强度感测噪声来降低感测信息处理的阈值^[21],以便中枢神经系统能够检测并处理微弱信号。其原理为随机共振,即感觉系统对弱输入刺激信号的响应可以通过特定的非零噪声水平来增强,使其达到阈值^[22]。噪声前庭电刺激的作用具有强度依赖,非零噪声的最佳强度水平会导致姿势平衡最大改善。与单侧前庭植入相比,噪声前庭电刺激可以为双侧前庭器官和前庭输入神经提供双侧的前庭信息。目前关于它潜在风险的研究信息有限,鉴于噪声前庭电刺激的非侵入性特点,噪声前庭电刺激被认为是安全且耐受性良好的一种治疗方法。

3.2 噪声前庭电刺激治疗 BVP 的研究进展

噪声前庭电刺激可有效改善前庭脊髓功能,将 BVP 患者的步态速度、步幅长度和步幅时间提高到与正常受试者相似的水平^[22]。Schniepp 等^[24]也发现噪声前庭电刺激改善静态站立平衡和动态行走稳定性效果明显。然而噪声前庭电刺激对站立和行走时姿势控制的改善需要特定的环境,即在视觉输入有限且本体感觉线索可靠的情况下,前庭增强才是有效的^[21]。此外,在噪声前庭电刺激刺激停止后的数小时内 BVP 患者身体平衡状况仍可以得到改善^[25]。这种刺激后的持续效果可能归因于小脑回路和前庭核的突触可塑性^[26]。

研究^[27]发现噪声前庭电刺激在改善 BVP 患者的前庭运动感知受损方面也是有效的,尤其是在基线感知能力较差的患者中。在超过 2/3 的 BVP 患者中,噪声前庭电刺激的应用有效降低了以头部为中心的滚转-倾斜刺激的前庭感知阈值。Sprenger 等^[28]利用视觉模拟量表评价 4 种不同前庭电流刺激对 BVP 患者感知运动评分,发现噪声前庭电刺激期间患者的感知摇摆评分更高;且相同刺激条件下与健康人群相比,BVP 患者的感知运动评分更高。

噪声前庭电刺激在 BVP 临床应用的有效性仍需进一步验证,未来需要建立标准化的刺激参数和方案。由于噪声前庭电刺激的效果依赖于患者残余的前庭功能,所以并不适用于所有类型的 BVP 患者。

4 人工前庭植入

4.1 人工前庭植入简述

人工前庭植入的构思与人工耳蜗植入的概念相同,即通过在患者头部固定植入人工前庭假体来修复姿势失衡、振动幻视、空间定向感知障碍等前庭功能。人工前庭植入物由运动传感器和电子部件(处理器和刺激器)组成,运动传感器采集头部在空间中的运动信息,并输入信息处理模块,电子部件将接收到的运动信息转换为通过植入前庭神经末梢附近的电极传输到大脑的电信号。这些电信号通过植入电极刺激支配半规管的前庭神经分支(即前、后、外管壶腹神经)或耳石器官(即椭圆囊斑和球囊斑),诱导特定半规管的眼球运动来恢复 VOR^[29]。不同研究中心的人工前庭植入的工作原理相似,但由于研究理念和实验状态的差异,导致人工前庭存在多种模式。例如,欧洲马斯特里赫特-日内瓦团队在人工耳蜗的基础上研发了一种耳蜗-前庭共刺激模式(vestibular co-stimulation with a cochlear implant, CI)^[30],该模式在人工耳蜗上加入 1~3 个前庭刺激电极并分别植入 3 个半规管的壶腹端;美国霍普金斯大学研究团队自主研发了一种人工前庭刺激模式(electrical vestibular stimulation with a vestibular implant, VI)^[31],VI 本质上是对 CI 的改进。目前人工前庭植入的手术入路选择包括迷路外入路和迷路内入路。迷路外入路是将单个电极放置在壶腹后神经附近,迷路内入路则直接将电极放置在半规管内靠近壶腹端。相比之下,经迷路内入路由于插入的电极非常靠近神经末梢,它允许高灵敏度、高选择性的刺激,产生更有益的结果。而经迷路外入路具有侵入性更小的优点。

4.2 人工前庭植入的适应证

Bárány 协会制定的 BVP 诊断标准^[1]不包括垂直半规管和耳石器的功能评估。鉴于人工前庭植入手术不可逆转地损害残留的前庭功能和部分听力功能,人工前庭植入的候选标准比诊断标准更加严格。人工前庭植入标准^[32]在 BVP 诊断标准的基础上进行了修改和扩展,主要区别包括:①所有测试半规管功能(视频头脉冲试验、转椅试验、温度试验)的前庭功能检查都在植入标准中显示明显的前庭功能损伤;②如果前庭植入是为了刺激恢复耳石器的功能,那么除了上述半规管功能异常外,颈肌前庭诱发肌源性电位和眼肌前庭诱发肌源性电位的反应必须缺失;③应满足患者安全和有效刺激的要求,并评估可能的医学和精神禁忌证。人工前庭植入的研究正

持续发展,故植入标准也应不断地改进完善以适合新的临床需求。

4.3 人工前庭植入的动物研究进展

人工前庭植入的动物研究进展最初由詹克斯前庭生理学试验研究小组在手术堵塞豚鼠水平半规管的动物模型上展开,研究通过 VOR 评估前庭系统的恢复情况,结果发现眼球震颤频率与刺激率和振幅在一定范围内呈线性相关^[33]。随后在水平半规管堵塞的松鼠和猴子的动物模型中,研究发现对受损半规管进行慢性刺激,VOR 增益逐渐恢复至对称状态,实现视觉稳定效果^[34]。这些结果表明当受到慢性运动调节电刺激时,大脑可能会发生可塑性改变,产生自适应的 VOR 增益和对称性改变。以上动物模型为前庭植入的可行性提供依据。前庭系统能够感知头部在三维立体空间中的运动信息,单通道植入人工前庭假体不能满足患者日常活动的需求。因此有研究^[35]在双侧前庭缺陷的啮齿类动物和恒河猴中植入多通道人工前庭假体(multi-channel vestibular prosthesis, MVP),发现 MVP 部分性地恢复了头部绕任意轴旋转的三维 VOR 和头部方位感知。此后研究对 MVP 电子元件进行全面升级,优化电路提高性能,采用集成封装缩小设备体积,研发出体积为 12 mm×20 mm×2 mm 的第 3 代人工前庭假体。大多数研究^[33,36-37]通过单侧植入来编码双向运动,这是基于 6 个半规管构成的 3 对共轭半规管(双侧水平半规管、左侧前半规管与右侧后半规管、右侧前半规管与左侧后半规管)分别处于相同平面的设计原理。任何头部运动至少刺激 1 对共轭半规管的兴奋性发生变化。前庭假体需要在各自半规管的兴奋和抑制方向上进行编码,以确保不会失去双侧半规管联合活动所实现的自然头部运动的双向编码。总之,这些动物模型研究为理解一维和三维前庭假体如何通过刺激半规管来影响 VOR、运动感知和姿势反应提供重要见解,为前庭植入在人类中的研究和应用提供临床前试验基础。

4.4 人工前庭植入治疗 BVP 的临床研究进展

在 30 例人工前庭植入的临床研究中,有 22 例 BVP 患者接受改良人工耳蜗植入^[36-37],在人工耳蜗的基础上加入 3 个前庭电极,分别将其放置在 3 个半规管内使其靠近壶腹端。所有患者听力均有改善,且前庭眼反射、前庭脊髓反射部分得到恢复。有研究^[36]发现 BVP 患者 MVP 植入术后 6 个月和 1 年在姿势、步态、主观眩晕、听力和生活质量等方面的测试结果基本一致,5 项姿势和步态测量中的 2 项,以及 4 项参与者报告的头晕和生活质量测试中

的 2 项都显示出基线水平的改善,然而几乎所有患者在接受前庭植入物后听力有所下降。

人工前庭植入对患者病史长短没有限制。最近的 1 项病例报告^[37]发现,1 例有 23 年病史的 BVP 患者接受单侧人工前庭植入后,在前庭植入物刺激下也可以驱动对应的电诱发前庭眼反射(electrically evoked vestibulo-ocular reflex, eeVOR),并引发前庭感知。eeVOR 响应的幅度随着刺激电流幅度的增加而增加,且反应排列和幅度与 BVP 病程较短的患者相似。连续使用设备 18 个月(除睡眠期间外,每天 24 h)后,患者反应大致稳定。尽管在刺激的过程中,该患者报告植入耳的严重感音神经性听力损失,不过平衡功能的获益超过单侧听力损失。

5 小 结

目前 BVP 的治疗尚未形成标准有效的方案,前庭康复治疗是 BVP 患者的首选治疗方法,nGVS 和人工前庭植入有望成为更有效的选择。nGVS 和人工前庭植入都存在局限性,未来需要进一步提高其有效性和安全性。对于人工前庭植入领域,大多数研究主要集中在恢复半规管功能上,对耳石器官功能的研究相对很少。随着电极技术和手术技术的不断改进,有望实现在不产生或轻微的听觉损失的情况下进行人工前庭植入,增加 BVP 患者治愈的可能性。随着研究不断深入,多种治疗方案或许可根据个体差异联合应用以达到最佳效果。

参考文献:

- [1] Strupp M, Kim JS, Murofushi T, et al. Bilateral vestibulopathy: diagnostic criteria consensus document of the classification committee of the Bárány society [J]. *J Vestib Res*, 2017, 27(4): 177-189. doi:10.3233/VES-170619
- [2] Lucieer F, Duijn S, van Rompaey V, et al. Full spectrum of reported symptoms of bilateral vestibulopathy needs further investigation-a systematic review [J]. *Front Neurol*, 2018, 9: 352. doi:10.3389/fneur.2018.00352
- [3] Lucieer FMP, van Hecke R, van Stiphout L, et al. Bilateral vestibulopathy: beyond imbalance and Oscillopsia [J]. *J Neurol*, 2020, 267(Suppl 1): 241-255. doi:10.1007/s00415-020-10243-5
- [4] Iwasaki S, Shojaku H, Kawahara T, et al. Estimated prevalence and characteristics of bilateral vestibulopathy diagnosed in Japan: a nationwide survey [J]. *Auris Nasus Larynx*, 2022, 49(3): 347-351. doi:10.1016/j.anl.2021.08.008
- [5] Mancino-Moreira F, Rueda A, Esteban-Sanchez J, et al.

- Clinical subtypes and vHIT parameters in a population with bilateral vestibulopathy[J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 673974. doi:10.3389/fneur.2021.673974
- [6] Porciuncula F, Johnson CC, Glickman LB. The effect of vestibular rehabilitation on adults with bilateral vestibular hypofunction: a systematic review [J]. *J Vestib Res*, 2012, 22(5/6): 283-298. doi:10.3233/VES-120464
- [7] Barros CG, Bittar RS, Danilov Y. Effects of electro tactile vestibular substitution on rehabilitation of patients with bilateral vestibular loss[J]. *Neurosci Lett*, 2010, 476(3): 123-126. doi:10.1016/j.neulet.2010.04.012[PubMed]
- [8] Ghulyan-Bedikian V, Paolino M, Paolino F. Short-term retention effect of rehabilitation using head position-based electro tactile feedback to the tongue: influence of vestibular loss and old-age[J]. *Gait Posture*, 2013, 38(4): 777-783. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.03.018
- [9] Kingma H, Felipe L, Gerards MC, et al. Vibrotactile feedback improves balance and mobility in patients with severe bilateral vestibular loss[J]. *J Neurol*, 2019, 266 (Suppl 1): 19-26. doi:10.1007/s00415-018-9133-z
- [10] Janssen M, Stokroos R, Aarts J, et al. Salient and placebo vibrotactile feedback are equally effective in reducing sway in bilateral vestibular loss patients[J]. *Gait Posture*, 2010, 31(2): 213-217. doi:10.1016/j.gaitpost.2009.10.008
- [11] Kingma H, Felipe L, Gerards MC, et al. Vibrotactile feedback improves balance and mobility in patients with severe bilateral vestibular loss[J]. *J Neurol*, 2019, 266 (Suppl 1): 19-26. doi:10.1007/s00415-018-9133-z
- [12] Dozza M, Chiari L, Horak FB. Audio-biofeedback improves balance in patients with bilateral vestibular loss[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86(7): 1401-1403. doi:10.1016/j.apmr.2004.12.036
- [13] Dozza M, Horak FB, Chiari L. Auditory biofeedback substitutes for loss of sensory information in maintaining stance[J]. *Exp Brain Res*, 2007, 178(1): 37-48. doi:10.1007/s00221-006-0709-y
- [14] Purohit H. The effects of vestibular implants and other existing treatment options of individuals with bilateral vestibular hypofunction: a review [J]. *Long Term Eff Med Implants*, 2023, 33(4): 31-42. doi:10.1615/JLongTermEffMedImplants.2022040056
- [15] Lehnen N, Kellerer S, Knorr AG, et al. Head-movement-emphasized rehabilitation in bilateral vestibulopathy [J]. *Front Neurol*, 2018, 9: 562. doi:10.3389/fneur.2018.00562
- [16] Hassannia F, Misale P, Sulway S, et al. Effectiveness of vestibular rehabilitation therapy in patients with idiopathic Cerebellar Ataxia with Bilateral Vestibulopathy (iCABV)[J]. *J Vestib Res*, 2022, 32(5): 479-485. doi:10.3233/VES-210058
- [17] Herdman SJ, Hall CD, Maloney B, et al. Variables associated with outcome in patients with bilateral vestibular hypofunction: preliminary study [J]. *J Vestib Res*, 2015, 25(3/4): 185-194. doi:10.3233/VES-150556
- [18] Kelly J, Harel D, Krishnamoorthy S, et al. Contextual sensory integration training vs. traditional vestibular rehabilitation: a pilot randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2023, 20(1): 104. doi:10.1186/s12984-023-01224-6
- [19] Stankiewicz T, Gujski M, Niedzielski A, et al. Virtual reality vestibular rehabilitation in 20 patients with Vertigo due to peripheral vestibular dysfunction [J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e930182. doi:10.12659/MSM.930182
- [20] McLaren R, Smith PF, Taylor RL, et al. Efficacy of nGVS to improve postural stability in people with bilateral vestibulopathy: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Neurosci*, 2022, 16: 1010239. doi:10.3389/fnins.2022.1010239
- [21] Wuehr M, Boerner JC, Pradhan C, et al. Stochastic resonance in the human vestibular system - Noise-induced facilitation of vestibulospinal reflexes [J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(2): 261-263. doi:10.1016/j.brs.2017.10.016
- [22] Iwasaki S, Fujimoto C, Egami N, et al. Noisy vestibular stimulation increases gait speed in normals and in bilateral vestibulopathy [J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(4): 709-715. doi:10.1016/j.brs.2018.03.005
- [23] Schniepp R, Boerner JC, Decker J, et al. Noisy vestibular stimulation improves vestibulospinal function in patients with bilateral vestibulopathy [J]. *J Neurol*, 2018, 265 (Suppl 1): 57-62. doi:10.1007/s00415-018-8814-y
- [24] Fujimoto C, Egami N, Kawahara T, et al. Noisy galvanic vestibular stimulation sustainably improves posture in bilateral vestibulopathy [J]. *Front Neurol*, 2018, 9: 900. doi:10.3389/fneur.2018.00900
- [25] Moossavi A, Eshaghi Z. Can galvanic vestibular stimulation be an effective management for bilateral vestibulopathy? [J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2022, 36: 18. doi:10.47176/mjiri.36.18
- [26] Wuehr M, Eder J, Keywan A, et al. Noisy galvanic vestibular stimulation improves vestibular perception in bilateral vestibulopathy [J]. *J Neurol*, 2023, 270(2): 938-943. doi:10.1007/s00415-022-11438-8
- [27] Sprenger A, Spliethoff P, Rother M, et al. Effects of perceptible and imperceptible galvanic vestibular stimulation on the postural control of patients with bilateral vestibulopathy [J]. *J Neurol*, 2020, 267(8): 2383-2397. doi:10.1007/s00415-020-09852-x
- [28] Guyot JP, Perez Fornos A. Milestones in the development of a vestibular implant [J]. *Curr Opin Neurol*, 2019, 32

- (1): 145-153. doi:10.1097/WCO.0000000000000639
- [29] van de Berg R, Ramos A, van Rompaey V, et al. The vestibular implant: opinion statement on implantation criteria for research[J]. J Vestib Res, 2020, 30(3): 213-223. doi:10.3233/VES-200701
- [30] Phillips JO, Ling L, Nie KB, et al. Vestibular implantation and longitudinal electrical stimulation of the semicircular canal afferents in human subjects[J]. J Neurophysiol, 2015, 113(10): 3866-3892. doi:10.1152/jn.00171.2013
- [31] Azevedo YJ, Ledesma ALL, Pereira LV, et al. Vestibular implant: does it really work? A systematic review [J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2019, 85(6): 788-798. doi:10.1016/j.bjorl.2019.07.011
- [32] Stultiens JJA, Lewis RF, Phillips JO, et al. The next challenges of vestibular implantation in humans [J]. J Assoc Res Otolaryngol, 2023, 24(4): 401-412. doi:10.1007/s10162-023-00906-1
- [33] Guyot JP, Perez Fornos A. Milestones in the development of a vestibular implant[J]. Curr Opin Neurol, 2019, 32(1): 145-153. doi:10.1097/WCO.0000000000000639
- [34] Della Santina CC, Migliaccio AA, Patel AH. A multi-channel semicircular canal neural prosthesis using electrical stimulation to restore 3-d vestibular sensation [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2007, 54(6 Pt 1): 1016-1030. doi:10.1109/TBME.2007.894629
- [35] Soto E, Pliego A, Vega R. Vestibular prosthesis: from basic research to clinics [J]. Front Integr Neurosci, 2023, 17: 1161860. doi:10.3389/fnint.2023.1161860
- [36] Chow MR, Ayiotis AI, Schoo DP, et al. Posture, gait, quality of life, and hearing with a vestibular implant[J]. N Engl J Med, 2021, 384(6): 521-532. doi:10.1056/NEJMoa2020457
- [37] Schoo DP, Ayiotis AI, Fernandez Brillet C, et al. Vestibular implantation can work even after more than 20 years of bilateral vestibular hypofunction[J]. and, 2023, 44(2): 168-171. doi:10.1097/MAO.0000000000003768

(编辑:李纬)

(上接第 153 页)

- [26] 张丰菊, 宋彦铮. 角膜屈光手术 SMILE 的临床安全性、有效性及稳定性评估 [J]. 大连医科大学学报, 2015, 37(6): 521-525. doi:10.11724/jdmu.2015.06.01
- ZHANG Fengju, SONG Yanzheng. Evaluation of the clinical safety, efficacy, and stability of small incision lenticule extraction [J]. Journal of Dalian Medical University, 2015, 37(6): 521-525. doi:10.11724/jdmu.2015.06.01
- [27] 中华医学会眼科学分会眼视光学组. 我国飞秒激光小切口角膜基质透镜取出手术规范专家共识(2018 年) [J]. 中华眼科杂志, 2018, 54(10): 729-736. doi:10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2018.10.003
- [28] 贾丽. 准分子激光屈光性角膜切削术后角膜混浊及药物治疗研究 [J]. 国外医学, 眼科学分册, 1997, (4): 202-206.
- [29] 王宇晨, 陈迪, 丁欣, 等. 准分子激光原位角膜磨镶术后 9 年行 SMILE 矫正 1 例 [J]. 中华眼科杂志, 2022, 58(10): 815-818. doi:10.3760/cma.j.cn112142-20220303-00091
- WANG Yuchen, CHEN Di, DING Xin, et al. A case report of SMILE for refractive regression nine years after myopia correction with laser in situ keratomileusis [J]. Chinese Journal of Ophthalmology, 2022, 58(10): 815-818. doi:10.3760/cma.j.cn112142-20220303-00091

(编辑:王磊)